

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, СОВЕРШЕНСТВА ТЕКСТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СВЕРХТОНКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПНОЙ СТАЛИ

Каган И.В., Редикульцев А.А., Русакова А.Г.

Руководитель – доц., к.ф.-м.н. Лобанов М.Л.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, tofm@mail.ustu.ru

В связи с бурным развитием высокочастотных электрических устройств, все больший интерес вызывает улучшение магнитных свойств сверхтонкой (0,03...0,1 мм) электротехнической анизотропной стали (ЭАС), которая является основным материалом для производства магнитопроводов трансформаторов работающих при частотах свыше 400 Гц. Сверхтонкая лента производится из обычной ЭАС (толщиной ~0,30 мм) по методу первичной рекристаллизации. Способ производства включает холодную прокатку исходной заготовки (псевдомонотекстурированный материал с ребровой текстурой (110)[001]) и последующий рекристаллизационный отжиг. Целью настоящей работы была оптимизация процесса производства сверхтонкой ленты из ЭАС.

При проведении исследования использовались три серии образцов размерами 0,28x280x30 мм крупнозернистой ЭАС, отличающихся химическим составом, средним размером зерен и степенью совершенства ребровой текстуры, которая характеризовалась величиной магнитной индукции, измеренной в однополосочном аппарате Эпштейна (таблица 1).

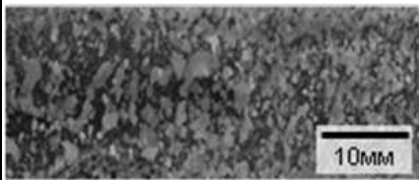
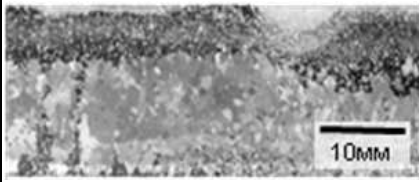
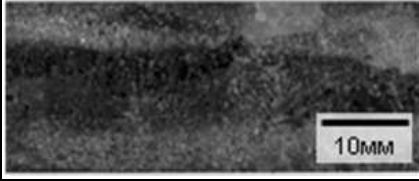
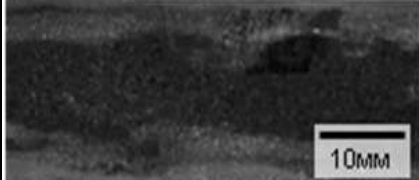
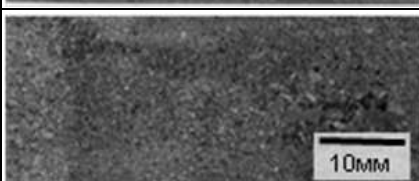
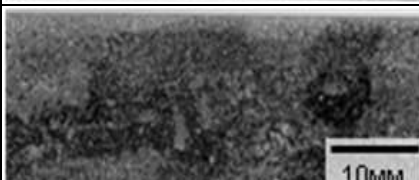
Таблица 1. Характеристики исследуемых серий образцов

№ серии	Концентрация элементов, мас. %							Ø зерна, мм	B ₂₅₀₀ , Тл
	C	Si	Mn	S	Al	N	Cu		
1	0,00 2	3,12 0	0,28 0	0,00 3	0,00 8	0,00 2	0,53 0	28	1,97
2	0,00 2	3,12 0	0,28 0	0,00 3	0,00 8	0,00 2	0,53 0	8	1,83
3	0,00 2	3,10 0	0,24 0	0,00 4	0,00 7	0,00 2	0,05 0	15	1,90

Образцы подвергали холодной прокатке на толщину 0,1 мм (степень деформации 65 %), с последующим разделением каждого образца на две части. Далее проводилась термическая обработка всех полученных образцов по двум режимам: 1) отжиг при 850 °С в течение 10 минут

(рекристаллизационный отжиг - РО); 2) нагрев с 300 до 850 °С со скоростью 15 °С/час (регулируемый нагрев - РН). В заключении все образцы подвергались высокотемпературному отжигу (ВТО) в течение 4 часов при 1000 °С. После каждой стадии термообработки проводились металлографические исследования структуры и измерялись магнитные свойства образцов (таблица 2).

Таблица 2. Взаимосвязь исходных магнитных свойств заготовки с макроструктурой и свойствами сверхтонкой ЭАС

№ серии	Обработка	Среднее по серии B_{2500} , Тл			Макроструктура
		Исходное	После РН(РО)	После ВТО	
1.1	1) ХП ($\varepsilon \sim 65\%$); 2) РН (до 850°С, $V_H \sim 15$ °С/час); 3) ВТО (1000°С, 4 часа)	1,97	<u>1,84</u>	1,82	
1.2	1) ХП ($\varepsilon \sim 65\%$); 2) РО (850°С, 10 минут); 3) ВТО (1000°С, 4 часа)	1,97	1,76	1,73	
2.1	1) ХП ($\varepsilon \sim 65\%$); 2) РН (до 850°С, $V_H \sim 15$ °С/час); 3) ВТО (1000°С, 4 часа)	1,83	1,78	<u>1,85</u>	
2.2	1) ХП ($\varepsilon \sim 65\%$); 2) РО (850°С, 10 минут); 3) ВТО (1000°С, 4 часа)	1,83	1,68	1,79	
3.1	1) ХП ($\varepsilon \sim 65\%$); 2) РН (до 850°С, $V_H \sim 15$ °С/час); 3) ВТО (1000°С, 4 часа)	1,90	1,81	1,81	
3.2	1) ХП ($\varepsilon \sim 65\%$); 2) РО (850°С, 10 минут); 3) ВТО (1000°С, 4 часа)	1,90	<u>1,83</u>	<u>1,83</u>	

Установлено, что ЭАС с 0,5 мас. % Си существенно более склонна к деформационному двойникованию при холодной прокатке по сравнению

со сталью не содержащей медь. Показано, что в ранее деформированных монокристаллах с 0,5 мас. % Cu, основное количество первичнорекристаллизованных зерен образуется на двойниках. В деформированных образцах стали без меди основным механизмом первичной рекристаллизации является зарождение в переходных полосах и в полосах сдвига. Зафиксировано, что при медленном нагреве ранее деформированных монокристаллов с ребровой ориентировкой при первичной рекристаллизации первыми формируются зародыши на двойниках.

При последующем высокотемпературном отжиге в мелкозернистом материале с ребровой текстурой может реализовываться процесс вторичной рекристаллизации, приводящий к ослаблению исходной текстуры. Вероятность реализации процесса вторичной рекристаллизации возрастает в материале с более острой ребровой текстурой.

По результатам работы даны рекомендации по оптимизации процесса производства сверхтонкой ЭАС: для металла с 0,5 мас. % Cu технология производства должна включать медленный нагрев на первичную рекристаллизацию и рафинирующий отжиг при температуре не выше 850°C; для металла без меди отжиг на первичную рекристаллизацию должен производиться с высокой скоростью, при чем допустимо проведение рафинирующего отжига (ВТО) при сравнительно высоких температурах (≥ 1000 °C).

Работа выполнена на оборудовании лаборатории «Структурных методов анализа и свойств материалов и наноматериалов» ЦКП УрФУ в рамках программ РАН (тема «Структура») и ФЦП Министерства образования и науки РФ (госконтракт 02.740.11.0537).